昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，June 2006，49(3)：428 – 432　ISSN 0454-6296

温度对黑豆蚜体内共生菌胞数量及宿主体型大小的影响

李献辉，李保平*

（南京农业大学昆虫学系，农业部农业昆虫与害虫防治重点实验室，南京　210095）

摘要：为了明确饲养温度对黑豆蚜 *Aphis fabae* 内共生菌和宿主蚜虫体型大小的影响，对在室内不同温度下饲养的黑豆蚜内共生菌胞数量和宿主蚜虫体型大小进行了观察和统计分析。结果表明，温度对同一发育时期蚜虫内共生菌胞数量的影响在不同温度范围内有所不同，1 龄若蚜体内的菌胞数量除在 25℃与 35℃间有显著差异外，在其余各温度间没有显著差异；其余时期的蚜虫内共生菌胞数量在高温（> 30℃）下显著低于较低温度下的菌胞数量，存在负直线相关性。温度对菌胞数量随宿主发育到产仔前的变化趋势有不同程度的影响，在较低温度（15℃、20℃和 25℃）下，菌胞数量随虫体发育显著增加；但在高温（30℃和 35℃）下，蚜虫体内菌胞数逐渐增加直到 3 龄达到最高，然后略有下降（30℃）或显著下降（35℃）。除 1 龄若蚜外，蚜虫体型大小总体呈现随温度升高而降低的格局，但随其内共生菌数量增多而增大（35℃下除外）。据此认为，温度可能通过作用于蚜虫内共生菌胞数量而影响蚜虫体型的大小。

关键词：黑豆蚜；内共生菌；温度；菌胞数量；宿主体型大小

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2006)03-0428-05

Effect of temperature on the abundance of mycetocytes in *Aphis fabae* Scopoli (Aphididae, Homoptera) and body size of their hosts

LI Xian-Hui, LI Bao-Ping* (Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To explore the effect of between breeding temperature on the endosymbiotic bacteria in *Aphis fabae* Scopoli and body size of their hosts, the changes in the abundance of mycetocytes and host body size under different temperatures were observed in the laboratory. The results showed that the effect of temperature on the abundance of mycetocytes was dependent on the developmental stage of aphids. The abundance of mycetocytes in the 1st instar nymphs of the aphid showed no difference at different temperatures except at 25℃ and 35℃, but showed significant difference in the other life stages of the aphid at different temperatures, and a negative correlation between the abundance of mycetocytes and temperature was found. Temperature also affected, to some extent, the trend of the abundance of mycetocytes following the development of aphids. The abundance of mycetocytes increased with the development from nymph to adult before larviposition in the aphid at 15℃, 20℃ and 25℃, but culminated at the 3rd instar and thereafter declined at higher temperatures (30℃ and 35℃). Aphid body size in all stages except for the 1st instar declined with the increase of temperature but increased with the abundance of mycetocytes at all temperatures except at 35 ℃. It is tentatively hypothesized that temperature affects aphid body size via influence on the abundance of mycetocytes.

Key words: *Aphis fabae*; endosymbiotic bacteria; temperature; abundance of mycetocytes; host body size

大多数蚜虫体内含有原生共生细菌——布赫纳氏菌 *Buchenera*（Baumann *et al*.，1995）。这类共生细菌生活在寄主蚜虫血腔内的特殊细胞——含菌细胞（简称菌胞）（mycetocyte 或 bacteriocyte）中，菌胞多聚集在蚜虫腹部体腔中呈双叶状结构（Buchner，1965）。蚜虫与共生菌之间的共生关系是长期协同演化的结果，两者互利共生，蚜虫为共生菌提供生存环境和营养来源，并对共生菌的生长繁殖进行调控；共生菌

基金项目：国家自然科学基金项目（30370237）

作者简介：李献辉，男，河北人，1979 年生，硕士，主要从事蚜虫与共生菌相互关系研究，E-mail：fh527117@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：lbp@njau.edu.cn

收稿日期 Received：2005-09-09；接受日期 Accepted：2006-03-17

为蚜虫生长发育提供多种必需的营养物质，在宿主的营养和新陈代谢中发挥重要作用（Douglas，1998）。

蚜虫内共生菌数量是一个动态变量，既受宿主蚜虫体内环境的影响（Lamb and Hinde，1967；Douglas and Dixon，1987），亦受蚜虫体外环境的影响（Douglas and Dixon，1987；Ohtaka and Ishikawa，1991），但影响的方式和程度随蚜虫种类不同而存在不同程度的差异。如蚕豆修尾蚜 *Megoura viciae* 和豌豆蚜 *Acyrthosiphon pisum* 从若虫孵化发育到成虫羽化，体内菌胞数量明显减少（Douglas and Dixon，1987）；但甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae* 从胚胎发育直到 3 龄若虫（无翅蚜）或 4 龄若虫（有翅蚜）体内菌胞数量逐渐增多，其后保持稳定直到成虫期（Lamb and Hinde，1966）。高温对蚜虫菌胞数量有明显的抑制作用，幼龄豌豆蚜在 37°C 下 3 h 以上时生长缓慢、体内胚胎畸形，菌胞消失（Ohtaka and Ishikawa，1991）；但在 15℃、18℃和 20℃下，豌豆蚜体内菌胞数量没有显著差异（Douglas and Dixon，1987）。但尚未见对同一种蚜虫在不同温度条件下体内菌胞数量变化及其与个体发育关系的研究。

体型与温度的负相关关系普遍存在于昆虫中（Dixon，1985）。Müller（1966）在对黑豆蚜 *Aphis fabae* Scopoli 体型大小的研究中指出，蚜虫体型大小可能是分解代谢与合成代谢平衡的结果，高温下分解代谢消耗大量的能量，导致用于合成代谢的能量减少，从而使体型减小；低温则使蚜虫体型增大。由于内共生菌在蚜虫营养代谢中具有不可替代的作用（Douglas，1998），故内共生菌数量（作为其活性的代表）理应对蚜虫体型大小产生一定的影响。然而，虽然 Lawson 早在 1941 年就推测，高温下桃蚜 *Myzus persicae* 体型变小是由于其内共生菌的不利影响所致，但迄今尚未见研究蚜虫体型大小与其内共生菌数量之间相关性的报道。本文旨在揭示：（1）温度与不同发育阶段黑豆蚜内共生菌胞数量的关系；（2）温度与黑豆蚜体型大小的相互关系；（3）黑豆蚜内共生菌胞数量与其体型大小的相互关系。

1　材料与方法

1.1　实验材料

实验于 2004 年 7 ~ 9 月进行。黑豆蚜采自南京市郊菜田的同一株蚕豆苗 *Vicia faba*。将采回的高龄若蚜接到盆（Φ 22 cm）栽蚕豆苗上，在恒温的光照培养箱内（25℃，70% RH，日照 16 h）饲养至成蚜，再用小毛笔把成蚜接种到盆（Φ 12 cm）栽长有 4 片真叶的单株蚕豆苗上，每盆接 40 ~ 60 头蚜虫任其繁殖，5 h 后去掉所有成蚜保留刚产出的 1 龄仔蚜，然后将有同龄若蚜的小花盆放在光照培养箱内，设 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃等 5 个温度处理，光照均为 16 h。每处理 10 盆。

1.2　实验方法

分别在各龄发育的中期随机抽取不同温度处理下各龄期蚜虫 40 ~ 50 头，用 Bouin-Dubosq 固定液（Ponsen，1976）固定 24 h，然后先用 70% 酒精冲洗，再用无菌水冲洗 1 次，最后用 80% 的酒精冲洗至不再出现黄色为止，移入装有 80% 酒精的小瓶内置于 4℃冰箱保存，供解剖、测定之用。

用后足胫节长度代表蚜虫体型大小，测量在解剖镜下进行，精确到 0.001 mm。每处理测量 30 头。蚜虫体内血腔中菌胞数量计数在立体显微镜下进行，解剖前在虫体上滴加一滴缓冲液（50 mmol/L Tris-HCl，pH 7.2，25 mmol/L KCl，10 mmol/L $MgCl_2$，0.25 mol/L sucrose）（Douglas and Dixon，1987），用细针将蚜虫腹部戳破，在腹部末端即可见聚集的含菌细胞，计数体腔内菌胞数量。每处理解剖观察供试蚜虫 20 头。

1.3　统计分析

由于蚜虫随龄期的增长体型逐渐增大，所以，在分析不同温度下各个龄期蚜虫后足胫节长度与其体内菌胞数量之间的相关性时，不分龄期，而以个体后足胫节长度作为自变量、其体内菌胞数作为因变量进行相关分析。多重比较用 Tukey's HSD 法进行，差异显著水平为 $P < 0.05$。统计分析用 Minitab14 软件进行。

2　结果与分析

2.1　温度与不同发育阶段黑豆蚜体内菌胞数量的关系

温度对同一发育时期蚜虫内共生菌胞数量的影响不同，1 龄若蚜体内的菌胞数量除在 25℃与 35℃间有显著差异外，在其余各温度间没有显著差异（$F = 0.128$，$P > 0.05$）；其余时期的蚜虫内共生菌胞数量在高温（> 30℃）下显著低于较低温度下的菌胞数量（表 1）。除 1 龄若蚜外，蚜虫体内菌胞数量均随温度的升高而显著降低（$P < 0.05$），存在负直线相关性，且相关程度随蚜虫发育进度而加强（图 1）。

温度对菌胞数量随虫体发育到产仔前的变化趋势有不同程度的影响。在 15℃、20℃和 25℃下，菌胞数量随虫体发育显著增加，各龄若虫的菌胞数量

存在显著差异。但在高温(30℃和 35℃)下,蚜虫体内菌胞数逐渐增加直到 3 龄达到最高(3 龄与 4 龄蚜虫的菌胞数没有差异),然后略有下降(30℃)或显著下降(35℃)(表 1)。

2.2 温度与黑豆蚜体型大小的关系

温度对 1 龄和 2 龄若蚜体型大小没有影响,但对其他发育时期的蚜虫体型大小有不同程度的影响,体型大小总体呈现随温度升高而降低的趋势,而且随着龄期的增大,温度的影响有累加效应(表 2)。3 龄、4 龄若蚜及成蚜产仔前各时期蚜虫体型大小与温度的线形相关模型依次为:$y_{3龄} = -0.0057x + 0.5878$, $r = 0.5177$; $y_{4龄} = -0.0062x + 0.6867$, $r = 0.5650$; $y_{成蚜} = -0.0064x + 0.8505$, $r = 0.5206$。

表 1 不同温度下各个龄期黑豆蚜体内的菌胞数量

Table 1 The abundance of mycetocytes in different instars of *Aphis fabae* at different temperatures

温度 Temperature (℃)	若虫龄期 Nymph instar				成蚜 Adult
	1	2	3	4	
15	24.5 ± 4.2 a AB	52.1 ± 11.5 b A	84.9 ± 8.5 c A	98.5 ± 13.5 d A	112.0 ± 8.1 e A
20	22.5 ± 4.8 a AB	59.1 ± 9.3 b A	79.9 ± 6.4 c A	93.7 ± 7.2 d AB	105.7 ± 5.8 e AB
25	18.7 ± 4.1 a B	38.3 ± 8.1 b B	68.4 ± 7.2 c B	83.4 ± 10.2 d BC	102.5 ± 6.1 e B
30	21.4 ± 5.7 a AB	36.2 ± 5.7 b B	75.0 ± 5.9 c AB	72.7 ± 14.5 c C	55.3 ± 11.8 d C
35	25.1 ± 7.2 ab A	25.8 ± 11.9 ab C	38.3 ± 12.8 a C	24.1 ± 8.4 bc D	22.3 ± 7.2 c D

注:表中数值为平均值 ± 标准差,同行数据后不同小写字母表示同一温度下不同龄期之间差异显著,同列数据后不同大写字母表示同一龄期不同温度之间差异显著(Tukey 's HSD 测验, $P < 0.05$, $n = 20$)。

Notes: Values are mean ± *SD*. Mean values within the same row with different small letters and those within the same column with different capital letters are significantly different by Tukey 's HSD test ($P < 0.05$, $n = 20$).

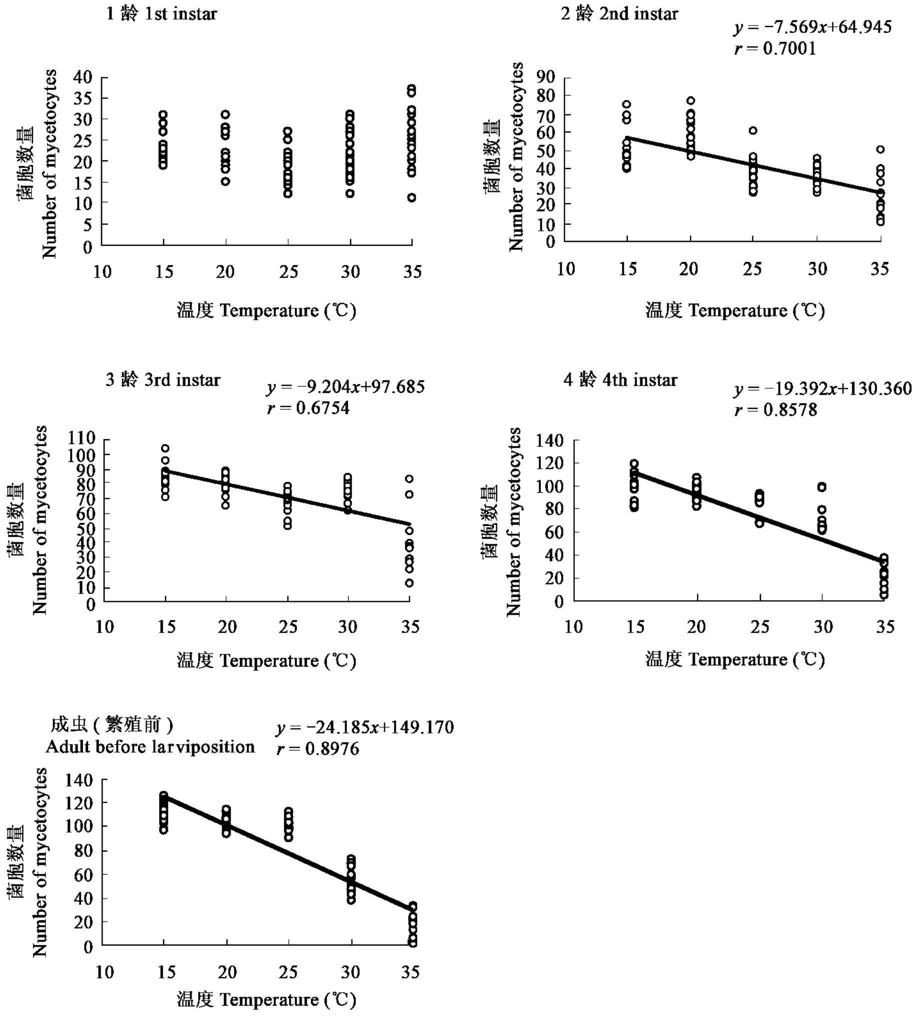

图 1 温度与各发育时期蚜虫内共生菌胞数量的关系

Fig. 1 Relationship between temperature and the abundance of mycetocytes in *Aphis fabae* at different developmental stages

表 2　不同温度下各龄期黑豆蚜后足胫节长度(mm)

Table 2　Length (mm) of hind tibia of different instars of *Aphis fabae* at different temperatures

温度 Temperature (℃)	若虫龄期 Nymph				成蚜 Adult
	1	2	3	4	
15	0.211 ± 0.054 a	0.267 ± 0.040 bc	0.477 ± 0.034 b	0.543 ± 0.039 b	0.750 ± 0.091 a
20	0.198 ± 0.020 ab	0.294 ± 0.050 a	0.527 ± 0.081 a	0.618 ± 0.065 a	0.701 ± 0.101 a
25	0.184 ± 0.020 b	0.282 ± 0.033 ab	0.415 ± 0.055 cd	0.528 ± 0.054 b	0.695 ± 0.063 ab
30	0.196 ± 0.027 ab	0.257 ± 0.036 c	0.382 ± 0.042 d	0.521 ± 0.054 b	0.667 ± 0.061 bc
35	0.195 ± 0.021 ab	0.286 ± 0.028 ab	0.422 ± 0.025 c	0.448 ± 0.056 c	0.609 ± 0.087 c

注：表中数值为平均值 ± 标准差，同列数值后小写字母不同表示差异显著(Tukey's HSD 测验，$P < 0.05$，$n = 30$)。
Notes: Values are mean ± *SD*. Mean values within the same column with different small letters are significantly different by Tukey's HSD test ($P < 0.05$, $n = 30$).

2.3　黑豆蚜体内菌胞数量与体型大小的关系

黑豆蚜体内菌胞数量与其体型之间存在一定的相关性(图 2)，在 15℃、20℃ 和 25℃下，蚜虫体型随着菌胞数量的增多而显著增大，二者存在明显的直

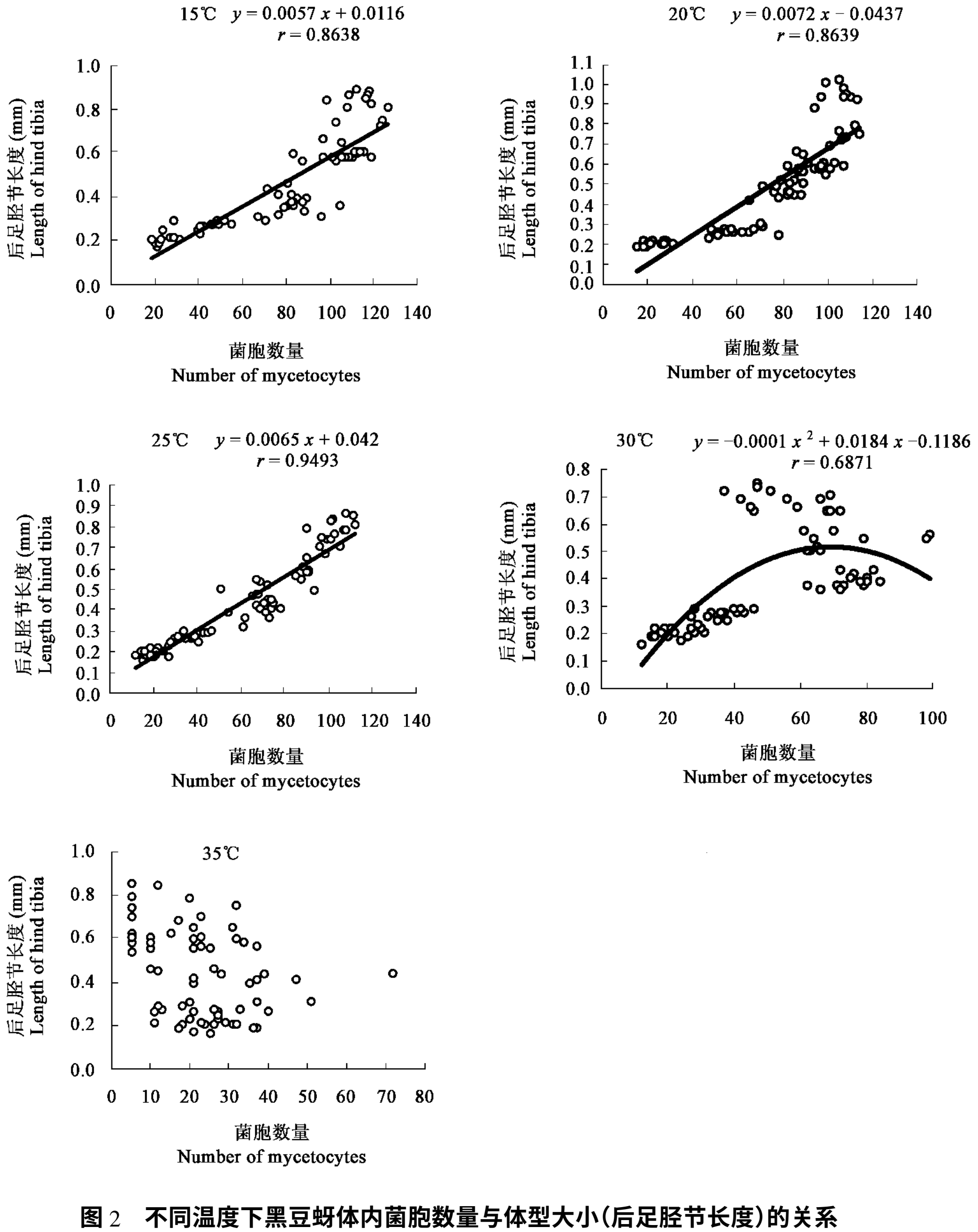

图 2　不同温度下黑豆蚜体内菌胞数量与体型大小(后足胫节长度)的关系

Fig. 2　Relationship between the abundance of mycetocytes and length of hind tibia in *Aphis fabae* at different temperatures

线相关性（$P < 0.01$）；而在 30℃条件下，蚜虫菌胞数量与体型之间存在曲线相关，菌胞数量太少和太多时体型都比较小，数量适中时体型最大；在 35℃条件下，蚜虫体内菌胞数量与其后足胫节长度之间不存在相关性。

3 讨论

蚜虫内共生菌胞数量随个体发育进程而发生的变化趋势明显受温度的影响，但影响的结果在蚜虫种间存在差异。我们对黑豆蚜的研究表明，在 15～30 ℃之间菌胞数量随蚜虫发育进程迅速增加，直到成蚜产仔之前达到最多。这与温度对甘蓝蚜内共生菌胞数量的影响结果基本一致（Lamb and Hinde，1966），但与对蚕豆修尾蚜和豌豆蚜的影响结果不同（Douglas and Dixon，1987）。造成这种差异的原因除了与蚜虫演化有关外，很可能与其他生态因子有关，如植物营养质量等。Wilkinson 等（2001）对黑豆蚜的研究表明，寄主植物对蚜虫原生和次生共生菌的数量和功能有着显著的影响，在紫野芝麻 *Lamium purpureum* 上取食的黑豆蚜共生菌数量明显多于在白藜 *Chenopodium album* 和罂粟 *Papaver dubium* 上取食的黑豆蚜。Adams 和 Douglas（1997）研究发现，去除共生菌的黑豆蚜在 16 种寄主植物上的生长速率存在显著差异。这些研究表明，蚜虫体内共生菌数量的动态变化不仅与宿主个体发育、环境温度有关，而且与寄主植物营养有着密切的关联。

体型大小是一个极其重要的适应性特征（Steans，1992）。高温下蚜虫体型减小、低温下体型增大的现象普遍存在（Dixon，1985），我们对黑豆蚜的研究结果与此规律一致。但导致这一现象背后的机理尚未定论，一般认为是由于能量在分解代谢与合成代谢之间的分配不对称造成的（Müller，1966），但食物营养质量胁迫也会导致蚜虫体型变小，故 Dixon（1985）认为蚜虫体型大小是食物质量和温度对生长发育速率共同作用的结果。由于蚜虫在营养代谢中对多数必需氨基酸的获得依赖于其内共生布赫纳氏细菌的作用（Douglas，1998），所以，用 Lawson（1941）将高温下桃蚜体型变小归于其内共生菌的不良作用的假设来解释温度与蚜虫体型大小的关系更为合理。我们的研究结果表明菌胞数量随温度升高而下降，体型也随温度的升高而减小，而体型大小与菌胞数量存在正相关关系，所以我们认为，温度可能通过影响蚜虫内共生菌而影响蚜虫体型的大小，例如，高温抑制了蚜虫内共生菌的作用，内共生菌的减少又导致蚜虫营养代谢受抑，从而使蚜虫生长发育受到胁迫，最终导致蚜虫体型变小。

致谢 美国加州大学伯克莱分校 Nick Mills 和 C.B. Montllor，南京农业大学植保学院孟玲对研究方法提出宝贵建议，在此一并致谢。

参 考 文 献（References）

Adams D，Douglas AE，1997. How symbiotic bacteria influence plant utilization by the polyphagous aphid *Aphis fabae*. *Oecologia*，110：528－532.

Baumann P，Baumann L，Lai CY，Roubakhsh D，Moran NA，Clark MA，1995. Genetic，physiology，and evolutionary relationships of the genus *Buchnera*：intracellular symbionts of aphids. *Ann. Rev. Microbiol.*，49：55－94.

Buchner P，1965. Endosymbiosis of Animals with Plant Microorganisms. New York：John Wiley and Sons. 297－332.

Dixon AFG，1985. Aphid Ecology. London：Blackie. 23－35.

Douglas AE，1998. Nutritional interactions in insect-microbial symbioses：aphids and their symbiotic bacteria *Buchnera*. *Ann. Rev. Entomol.*，43：17－37.

Douglas AE，Dixon AFG，1987. The mycetocyte symbiosis in aphids：variation with age and morph in virginoparae of *Megoura viciae* and *Acyrthosiphon pisum*. *J. Insect Physiol.*，33：109－113.

Lamb KP，Hinde R，1967. Structure and development of the mycetome in the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*. *J. Invertebr. Pathol.*，9：3－11.

Lawson CA，1941. The effect of temperature on longevity，reproduction and growth in aphids. *Genetics*，26：159.

Müller HJ，1966. Über die Ursachen der unterschiedlichen Resistenze von *Vicia fabae* L. gegenüber der Bohnenblattlaus，*Aphis*（*Doralis*）*fabae* Scop. IX. Der Einfluss Ökologischer Faktoren auf das Wachstum von *Aphis fabae* Scop. *Entomol. Exp. Appl.*，9：42－66.

Ohtaka C，Ishikawa H，1991. Effects of heat treatment on the symbiotic system of an aphid mycetocyte. *Symbiosis*，11：19－30.

Ponsen MB，1976. Anatomy of an aphid vector：*Myzus persicae*. In：Harris KF，Maramorosch K eds. Aphids as Virus Vectors. New York：Academic Press. 63－82.

Stearns S，1992. The Evolution of Life Histories. Oxford：Oxford University Press.

Wilkinson TL，Adams D，Minto LB，Douglas AE，2001. The impact of host plant on the abundance and function of symbiotic bacteria in an aphid. *J. Exp. Biol.*，204：3 027－3 038.

（责任编辑：吴明宇）